



UNIVERSIDADE DO VALE DO TAQUARI - UNIVATES
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**DESEMPENHO FÍSICO E MECÂNICO DE PAINÉIS DE FACHADA
PRÉ-FABRICADOS EM ECC COM USO DA FIBRA PVA**

Tuanny Rabaiolli Ramos

Lajeado, novembro de 2018

Tuanny Rabaiolli Ramos

**DESEMPENHO FÍSICO E MECÂNICO DE PAINÉIS DE FACHADA
PRÉ-FABRICADOS EM ECC COM USO DA FIBRA PVA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do Curso de Engenharia Civil, da Universidade do Vale do Taquari – Univates, como parte da exigência para obtenção do título de Bacharela em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Me. Rafael Mascolo

Lajeado, novembro de 2018

Tuanny Rabaiolli Ramos

**DESEMPENHO FÍSICO E MECÂNICO DE PAINÉIS DE FACHADA
PRÉ-FABRICADOS EM ECC COM USO DA FIBRA PVA**

A Banca examinadora abaixo aprova a Monografia apresentada na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, na linha de formação específica em Engenharia Civil, da Universidade do Vale do Taquari - Univates, como parte da exigência para a obtenção do grau de Bacharela em Engenharia Civil:

Prof. Me. Rafael Mascolo - orientador
Universidade do Vale do Taquari – Univates

Prof. Ma. Rebeca Jessica Schmitz
Universidade do Vale do Taquari – Univates

Prof. Me. João Batista Gravina
Universidade do Vale do Taquari – Univates

Lajeado, 10 de dezembro de 2018

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço aos meus pais, por me darem a vida e por me conduzirem até o caminho do estudo. Agradeço em especial a minha mãe, que esteve todos os dias dessa longa jornada ao meu lado, acompanhando cada conquista e cada decepção.

Agradeço ao meu irmão, que apesar de ser mais novo, carrega consigo enorme inteligência e sabedoria. Obrigada pelos conselhos, por me ajudar a corrigir o trabalho e a peneirar 40 Kg de areia. Mas acima de tudo, obrigada por me inspirar a ter foco e buscar os meus objetivos.

Agradeço a minha segunda mãe e madrinha por estar ao meu lado em momentos muito difíceis. Você sabe que é parte dessa conquista. Agradeço a minha prima irmã por sempre me apoiar, tanto em momentos bons quanto ruins.

Agradeço ao meu namorado que esteve comigo desde o início da minha graduação. Obrigada por constantemente me cobrar e perguntar sobre o andamento do meu trabalho, você me incentivou dia após dia a terminá-lo.

Agradeço também a minha segunda família, a família do meu namorado. Obrigada por sempre me acolherem e obrigada a minha sogra que sempre valorizou o estudo.

Agradeço aos meus amigos e colegas que estiveram junto durante essa jornada. Em especial agradeço aos meus três melhores amigos: Graciela, Henrique e Joeser, com certeza levaremos essa amizade muito além da faculdade.

Agradeço a todos os professores que me mostraram como é linda essa profissão. Agradeço em especial o meu orientador pelos conselhos e sugestões, além de me ajudar na realização dos ensaios.

Agradeço aos funcionários do LATEC pela dedicação e pela ajuda. Agradeço em especial o funcionário Vianeí que não mediu esforços para me ajudar e sempre se mostrou muito prestativo.

Por fim agradeço a UNIVATES, pela qualidade do curso, dos professores e pela infraestrutura. Espero voltar em breve!

“Nada no mundo consegue tomar o lugar da persistência. O talento não consegue; nada é mais comum que homens fracassados com talento. A genialidade não consegue; gênios não recompensados é quase um provérbio. A educação não consegue; o mundo é cheio de errantes educados. A persistência e determinação sozinhas são onipotentes”.

Calvin Coolidge

RESUMO

O *Engineered Cementitious Composite* (ECC), apesar de pouco abordado em estudos e em aplicações da engenharia, possui propriedades relevantes, tais como alta ductilidade e boa resistência à flexão devido à sua composição. Deste modo, este trabalho tem por objetivo testar as propriedades físicas e mecânicas do ECC, a fim de mensurar as qualidades desse compósito. A metodologia deste estudo envolveu a execução de um ensaio no estado fresco (ensaio de espalhamento), que mediu a trabalhabilidade do concreto, e de três ensaios no estado endurecido, os quais mediram a resistência à tração, à compressão e à flexão. Ademais, realizaram-se ensaios de caracterização da areia e do cimento. Os dados obtidos através dos ensaios realizados foram analisados e comparados a valores já conhecidos do *Glassfibre Reinforced Concrete* (GRC) e do próprio ECC. Pôde-se afirmar que o ECC possui alta ductilidade e elevada capacidade de deformação, além disso, verificou-se que o aumento dos teores de fibra na mistura ocasiona uma queda na resistência, principalmente à flexão.

Palavras-chave: ECC. Concreto com PVA. Fachadas pré-fabricadas.

ABSTRACT

Although engineering studies and applications rarely address the Engineered Cementitious Composite (ECC), it has relevant properties, such as high ductility and good flexural resistance due to its composition. In this way, this work aims to test the physical and mechanical properties of ECC so as to measure the qualities of this composite. This study's methodology involved the execution of an experiment in the fresh state (spreading test), which measured the concrete's workability, and three experiments in hardened form, which measured tensile, compressive, and flexural strength. Additionally, tests of cement and sand characterization were conducted. The data provided by the experiments was analyzed and compared to the values of Glassfibre Reinforced Concrete (GRC) and ECC. The ECC has high ductility and deformation capacity; moreover, the increase of fiber content in the mixture causes a decrease of resistance, especially flexural resistance.

Key-words: ECC. Concrete with PVA. Prefabricated facades.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Placa de painel pré-fabricado de concreto	21
Figura 2 – Sistema de junta e fixação de painel pré-fabricado de concreto	22
Figura 3 – Fachada com painéis de GRC de edifício garagem da ULBRA	23
Figura 4 – Painéis de stud frame da faculdade de odontologia da ULBRA	24
Figura 5 – Esquema da fixação de um painel tipo sanduíche	25
Figura 6 – (a) concreto armado e (b) ECC armado sem estribos	28
Figura 7 – Superfície da ruptura de uma folha de concreto	33
Figura 8 – Capacidade de deformação do ECC	34
Figura 9 – Diagrama tensão x extensão dos ECCs	35
Figura 10 – Processo de mistura: (a) mistura dos materiais secos, (b) aspecto da mistura após adição de água e superplastificante, (c) mistura após adição das fibras, (d) processo de moldagem de corpos de prova prismáticos	36
Figura 11 – Resultado típico do ensaio de espalhamento com e sem fibras de PVA	37
Figura 12 – Aparência das fibras PVA	44
Figura 13 – (a) Placa com 1% de fibra; (b) Placa com 1,5% de fibra; (c) Placa com 2,0% de fibra	48
Figura 14 – Posição em que os corpos de prova devem ser cortados	48
Figura 15 – Espalhamento sem fibras	49
Figura 16 – Espalhamento com 1% de fibras	50
Figura 17 – Espalhamento com 1,5% de fibras	51
Figura 18 – Espalhamento com 2,0% de fibras	51
Figura 19 – Ensaio de resistência à tração	52

Figura 20 – Fissuras no corpo de prova após o ensaio.....	53
Figura 21 – Corpo de prova sendo prensado	55
Figura 22 – Teste de Tukey.....	57
Figura 23 – Ensaio de resistência à flexão nos 4 pontos	58
Figura 24 – Corpo de prova após o ensaio	59

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Resistência das fibras em meio alcalino	32
Gráfico 2 – Valores médios de resistência à flexão.....	57

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Propriedades típicas de painéis GRC aos 28 dias	38
Quadro 2 – Traço unitário	41
Quadro 3 – Traço final.....	42
Quadro 4 – Composição do cimento pozolânico	43
Quadro 5 – Características da fibra PVA	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição M45 (Kg/m ³).....	29
Tabela 2 – Valores dos ensaios de caracterização dos materiais.....	45
Tabela 3 – Resultados de resistência à tração aos 28 dias	52
Tabela 4 – Resultados de resistência à compressão aos 28 dias.....	54
Tabela 5 – Resultados da resistência à flexão	55
Tabela 6 – Resumo da análise de variância	56
Tabela 7 – Análise de variância	56

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 Tema	15
1.2 Problema	15
1.3 Hipótese	16
1.4 Objetivos	16
1.4.1 Gerais	16
1.4.2 Específicos	16
1.5 Justificativa.....	16
1.6 Delimitação do trabalho.....	17
1.7 Estrutura de pesquisa.....	17
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	19
2.1 Industrialização e racionalização.....	19
2.2 Fachadas pré-fabricadas	20
2.3 Compósito cimentício de alto desempenho reforçado com fibras	25
2.3.1 Funcionamento dos ECC.....	27
2.3.2 Materiais constituintes do ECC.....	28
2.3.2.1 Cimento	29
2.3.2.2 Água	30
2.3.2.3 Areia	30
2.3.2.5 Aditivo Superplastificante	33
2.3.3 Procedimento de mistura	33
2.3.4 Propriedades no estado fresco	36
2.3.5 Propriedades no estado endurecido	38
2.3.5.1 Resistência mecânica à tração	38

2.3.5.2 Resistência mecânica à compressão	38
2.3.5.3 Resistência mecânica à flexão	39
2.3.5.4 Retração	39
2.3.5.5 Durabilidade.....	40
 3 MATERIAIS E MÉTODOS	 41
3.1.1 Cimento	42
3.1.2 Água	43
3.1.3 Areia	43
3.1.4 Fibra.....	43
3.1.5 Superplastificante	44
3.2 Ensaio realizado	45
3.2.1 Caracterização dos materiais.....	45
3.2.1.1 Massa unitária da areia	45
3.2.1.2 Massa específica e massa aparente da areia.....	46
3.2.1.3 Massa específica do cimento	46
3.2.4 Ensaio de espalhamento	46
3.2.5 Ensaio de resistência à compressão.....	46
3.2.6 Ensaio de resistência à tração	47
3.2.7 Ensaio de resistência à flexão	47
 4 ANÁLISE DOS RESULTADOS	 49
4.1 Espalhamento.....	49
4.2 Tração.....	52
4.3 Compressão.....	54
4.4 Flexão	55
 5 CONCLUSÃO	 60

REFERÊNCIAS.....61

1 INTRODUÇÃO

No decorrer dos últimos anos, a construção civil no Brasil vem sofrendo progressos significativos. Isto se deve a fatores como a facilidade de adquirir um financiamento habitacional, o que gerou uma grande aquisição de imóveis e consequentemente a expansão dos empreendimentos imobiliários. Por conta disso, melhorias nos processos construtivos fizeram-se necessárias e a industrialização desses processos tornou-se uma alternativa para reduzir o tempo total da obra. Neste sentido, os sistemas construtivos pré-fabricados estão sendo cada vez mais utilizados. Dentre esses sistemas, os painéis de vedação para fachadas, vem ganhando destaque e surgem como alternativa às tradicionais vedações pesadas. Entre os diversos tipos de painéis pré-fabricados destaca-se o painel de *Glassfibre Reinforced Concrete* (GRC) (VICENZI, 2015).

O GRC é um compósito formado por pasta de cimento, com ou sem agregado miúdo e que possui adição de fibras de vidro (LAMEIRAS, 2007). Apesar das fibras de vidro já terem sofrido melhorias ao longo do tempo, sabe-se que elas não reagem bem em meio alcalino, necessitando de cuidados especiais quanto à durabilidade. Já a utilização de um compósito cimentício reforçado com fibra de álcool polivinílico, que é altamente álcali-resistente, não apresenta tal problema de alcalinidade, o que pode ser uma alternativa para placas de concreto com fibras.

O concreto é o material mais utilizado na indústria da construção civil e é composto por água, cimento, areia e agregado graúdo. A principal propriedade do concreto é a sua elevada resistência mecânica à compressão, todavia possui baixa resistência à tração, da ordem de 10% da resistência à compressão. Para melhorar

o comportamento à tração, armaduras de aço são introduzidas, formando assim, o concreto armado (CASAGRANDE, 2012). Além disso é possível introduzir outros materiais ao concreto, como fibras, e segundo Magalhães (2010), nas últimas décadas foram desenvolvidos diversos tipos de materiais cimentícios reforçados com fibras, a fim de elevar a tenacidade e aumentar a resistência ao impacto, além de retardar e controlar o processo de fissuras, aumentando assim a durabilidade da estrutura no decorrer do tempo.

Pesquisadores da Universidade de Michigan, nos Estados Unidos, desenvolveram uma classe diferenciada de compósitos cimentícios de alto desempenho reforçados com fibras, denominados *Engineered Cementitious Composites* (ECC). Li (2003), descreve os ECCs como compósitos cimentícios de alta ductilidade reforçados com fibras. Eles possuem uma adição máxima de 2% de fibras em relação ao volume total e foram projetados para resistir a elevadas tensões de tração e altas cargas de cisalhamento. Além disso, possuem alta ductilidade e uma grande capacidade de absorção de energia e de deformações quando submetidos a carregamentos de tração, isso ocorre devido a formação de múltiplas fissuras com pequenas aberturas, que se formam durante o seu processo de ruptura. As fibras mais utilizadas são as de álcool polivinílico (PVA), fabricadas pela empresa japonesa Kuraray.

O presente estudo tem a finalidade de avaliar o comportamento mecânico e físico de placas de fachada pré-fabricadas utilizando o compósito ECC com uso da fibra PVA. Fazendo um paralelismo às placas de fachada em GRC.

1.1 Tema

Emprego do compósito ECC, com utilização da fibra PVA, em painéis de fachada pré-fabricados.

1.2 Problema

O emprego do ECC é vantajoso mecânica e fisicamente na confecção de painéis de fachada pré-fabricadas?

1.3 Hipótese

Parte-se do pressuposto que, além da resistência em meio alcalino, a fibra PVA colabora na propriedade do ECC de controle de fissuração, aumentando assim a durabilidade das placas pré-fabricadas.

1.4 Objetivos

1.4.1 Gerais

Avaliar o desempenho físico e mecânico de placas de fachada compostas em ECC com uso de fibra PVA.

1.4.2 Específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- a) Avaliar as propriedades mecânicas de resistência à compressão, à tração e à flexão;
- b) Avaliar as propriedades do estado fresco quanto a trabalhabilidade;
- c) Avaliar a influência de diferentes teores de fibra PVA nas propriedades físicas e mecânicas.

1.5 Justificativa

O ECC é um material relativamente novo e pouco estudado. Um dos motivos é a reduzida disponibilidade da fibra utilizada, visto que a empresa japonesa Kuraray detém o monopólio da sua produção. Entretanto, o comportamento do ECC de criação de microfissuras, as quais aumentam a ductilidade do compósito, e sua boa resistência à flexão são propriedades que o tornam muito resistente a intempéries e dificultam a ruptura da peça.

Além disso, a fibra PVA, utilizada no ECC, é mais resistente ao meio alcalino que a fibra AR (álcali-resistente), constituinte do GRC. Considerando isso, os painéis

que utilizam o ECC podem ser mais resistentes física e mecanicamente que os painéis em GRC. Sendo assim, a utilização do ECC na construção civil pode gerar produtos com maior durabilidade e menos necessidade de manutenção.

1.6 Delimitação do trabalho

Nesta pesquisa o traço utilizado no ECC será baseado em um único traço, sem variações na composição dos materiais, com exceção dos teores de fibras. Devido a utilização do cimento CP-IV, que possui adições pozolânicas, não será feito uso da cinza volante. As porcentagens de fibras foram previamente definidas, são elas: 1,0, 1,5 e 2%. Salienta-se que esse estudo não tem finalidade de avaliar aspectos econômicos bem como parâmetros térmicos e acústicos das placas de fachada pré-fabricadas compostas por ECC.

1.7 Estrutura de pesquisa

No primeiro capítulo intitulado “INTRODUÇÃO”, o assunto é contextualizado de forma simples e genérica. É justificada a escolha do tema, sua relevância e importância quanto ao uso de fachadas pré-fabricadas com uso de ECC. Também é descrito os objetivos gerais e específicos, tema, problema, hipótese, justificativa, delimitação do tema e estrutura de pesquisa.

No segundo capítulo, “REVISÃO BIBLIOGRÁFICA”, foi realizada uma pesquisa com foco no compósito ECC. Também se falou sobre industrialização e racionalização, fachadas pré-fabricadas, GRC, materiais constituintes do ECC, seu modo de preparo e suas propriedades no estado fresco e endurecido.

O terceiro capítulo, “MATERIAIS E MÉTODOS”, trata sobre o programa experimental que norteou o desenvolvimento desta pesquisa. Neste capítulo, foram apresentadas as características dos materiais e os ensaios utilizados na realização do estudo.

No quarto capítulo, “ANÁLISE DOS RESULTADOS”, são apresentados os resultados obtidos durante os ensaios laboratoriais, os mesmos foram analisados e discutidos.

Por fim, no quinto capítulo, “CONCLUSÃO”, são apresentadas as considerações e conclusões finais que se baseiam nos resultados derivados do capítulo anterior.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo são apresentados conceitos e termos considerados relevantes a fachadas pré-fabricadas e ao ECC. A fim de fundamentar, legitimar e justificar este estudo, norteando o leitor através de uma contextualização que facilite o seu entendimento.

2.1 Industrialização e racionalização

“A racionalização é o processo mental que governa a ação contra os desperdícios temporais e materiais dos processos produtivos, aplicando o raciocínio sistemático, lógico e resoluto, isento de fluxo emocional” (ROSSO apud RIBEIRO, 2002, p. 11). Ainda segundo o autor, a racionalização de um processo produtivo serve para substituir práticas convencionais e eliminar o modo empírico da tomada de decisões. A racionalização é imprescindível na industrialização, pois, com ela, os métodos de produção são estudados, visando à redução do tempo de trabalho e do tempo de máquinas, o que otimiza a produtividade e a rentabilidade do processo.

Para Ribeiro (2012), a industrialização da construção se associa à necessidade de integração entre suas fases, pois percebe-se que as obras funcionavam sem interação e sem coordenação antigamente. Nessas fases, a falta de informação, mal entendimentos e incompreensões geram perda de tempo e ocasionam erros que levam a repetições. A construção civil tem sofrido muitas críticas quanto à sua falta de industrialização, porém o enquadramento nesse conceito já é realidade em alguns países, como nos Estados Unidos.

Para se ter ideia da importância da industrialização na construção civil, são necessários 80 Hh/m² (homem hora por metro quadrado) em uma edificação na qual o processo construtivo seja artesanal primitivo, enquanto esse número se reduz a apenas 10 Hh/m² em um processo industrializado (ALVES, 2016).

Devido à crescente demanda por habitações, grandes obras de infraestrutura têm sido necessárias, fazendo da industrialização algo indispensável dentro dos processos de produção (MOURA; SÁ, 2013). A esse respeito, Serra, Ferreira e Pigozzo (2005) afirmam que a industrialização da construção civil teve um grande salto qualitativo devido à utilização de peças de concreto pré-fabricadas. Esses elementos industrializados possuem um alto controle durante a sua produção por conta de elementos como mão de obra qualificada, fornecedores selecionados, baixo índice de desperdício, velocidade de execução e redução na geração de resíduos.

2.2 Fachadas pré-fabricadas

Um dos sistemas construtivos que passaram pelo processo de industrialização é o de fachadas pré-fabricadas, consideradas, por especialistas, elementos de grande importância em um edifício. Para Barth e Verfago (apud VICENZI, 2015, p. 20):

As fachadas possuem papel estratégico na valorização de um empreendimento, podendo gerar destaque ao edifício e também compor o espaço urbano. Dentre outras funções, as fachadas são elementos condicionadores naturais do edifício podendo, quando bem dimensionadas, melhorar a eficiência energética do mesmo. As fachadas são a interface entre os ambientes interiores e o exterior, podendo criar espaços de transição que melhoram o conforto dos usuários.

O custo de execução das fachadas pode chegar a 20% do custo total de uma obra. Por essa razão econômica e por motivos técnicos, as tecnologias construtivas envolvidas na execução de fachadas têm passado por frequentes evoluções no decorrer dos últimos anos. Atualmente existem, no Brasil, algumas tecnologias de fachadas pré-fabricadas, como: placas de cimento e de vidro, além de painéis de concreto (FIGURA 1), de *Glassfibre Reinforced Concrete* (GRC), de metal (alumínio ou aço inox), de rocha e de cerâmica (OLIVEIRA, 2009).

Figura 1 – Placa de painel pré-fabricado de concreto



Fonte: Votorantim Cimento (2016).

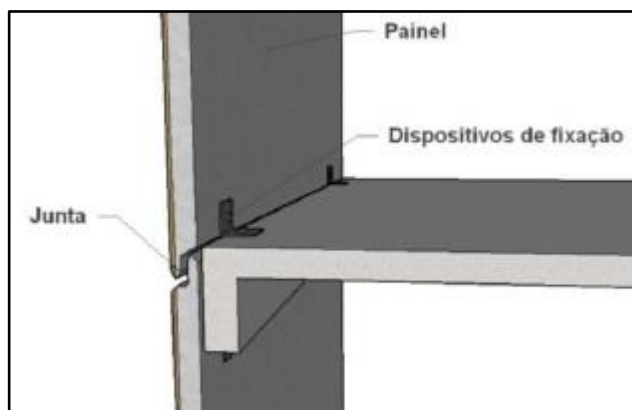
Segundo Vicenzi (2015), a racionalização da indústria gera maior agilidade nos processos de produção, podendo reduzir o prazo final da obra e, conseqüentemente, adiantar o seu faturamento. As fachadas pré-fabricadas são mais vantajosas em edifícios altos e de grandes dimensões; apesar disso, o uso desses elementos no Brasil é limitado a edifícios comerciais e industriais de vários pavimentos, visto que sua utilização ainda não é muito difundida nem aceita por proprietários de prédios residenciais.

Os painéis pré-fabricados devem ser projetados para suportar as solicitações no decorrer da desforma e da montagem com os dispositivos de fixação. Além disso, o local em que as peças serão armazenadas no canteiro de obras, possui influência direta no desempenho da etapa de instalação. Outros fatores como a verificação estrutural das condições de manuseio, montagem e ligações com a estrutura existente, também são muito importantes (CORSINI, 2001).

Os painéis pré-fabricados de concreto, por exemplo, apresentam como grande vantagem o acabamento já incorporado, ou seja, chegam na obra prontos para serem instalados. A sua instalação ocorre através de *inserts* metálicos, fixados tanto nas peças quanto na estrutura da edificação. As juntas entre os painéis devem ser estanques, porém devem possuir espaço suficiente para comportar a

movimentação das placas, conforme apresentado na Figura 2 (VOTORANTIM CIMENTO, 2016).

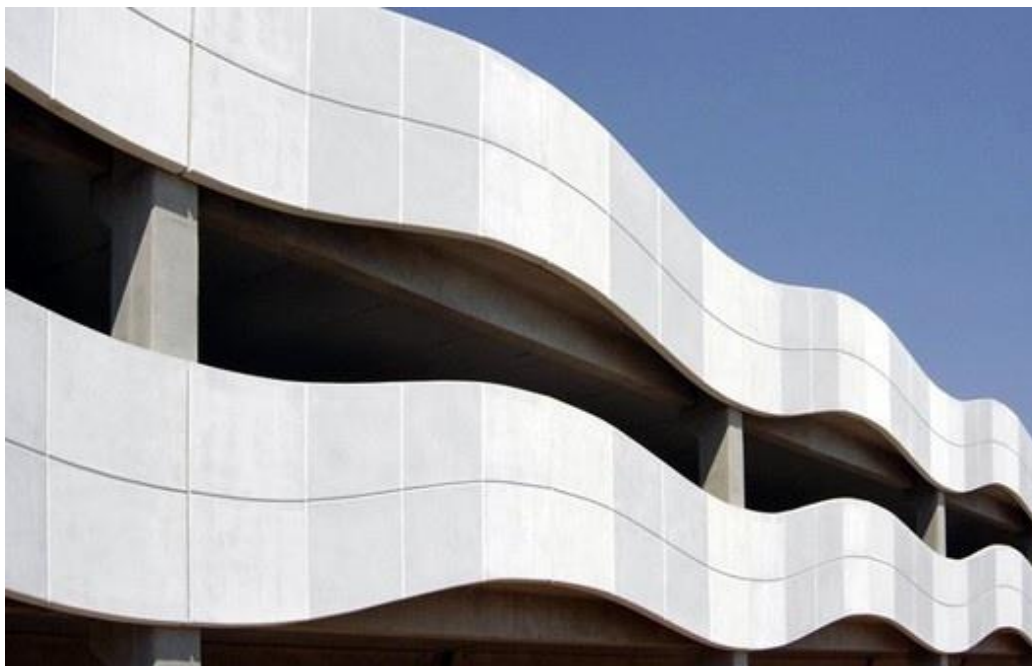
Figura 2 – Sistema de junta e fixação de painel pré-fabricado de concreto



Fonte: Debs e Ferreira (2014).

O GRC, que, em português, significa Concreto Reforçado com Fibras de Vidro, é uma sigla utilizada para denominar o compósito formado por uma matriz cimentícia, a qual é composta por pasta de cimento com ou sem agregado miúdo e reforçada com fibras de vidro dispersas. O GRC é utilizado na fabricação de painéis para fechamento vertical de fachadas (FIGURA 3) e difere do concreto tradicional reforçado com fibras de vidro pelo seu método de produção e pela sua forma de funcionamento. O compósito é produzido por uma metodologia que permite a incorporação de maiores teores de fibras e a confecção de peças com menor espessura. Quanto ao seu funcionamento, as fibras agem como reforço principal das peças no GRC e como um reforço secundário em concretos mais tradicionais, aumentando a tenacidade das peças e auxiliando no controle de fissuração (LAMEIRAS, 2007).

Figura 3 – Fachada com painéis de GRC de edifício garagem da ULBRA



Fonte: Barth e Vefago (2008).

Por volta de 1960, na Rússia, surgiram os primeiros estudos sobre a utilização da fibra de vidro como reforço de cimento, as fibras utilizadas no compósito eram do tipo E, porém, elas sofrem forte ataque alcalino, o que ocasiona perda da resistência mecânica. A denominação E, dessa fibra, é devido a sua propriedade de isolamento elétrico em ambientes que possuem baixa alcalinidade. Essas fibras possuem elevada resistência à tração, porém, deterioravam rapidamente devido ao hidróxido de cálcio proveniente da hidratação do cimento *Portland*. Entretanto, 95% da produção mundial de cimento era composta pelo cimento *Portland*, o que fez pesquisadores buscarem uma fibra de vidro que fosse resistente ao meio alcalino (VICENZI, 2015). Como explica Fernandes (2008), uma nova fibra foi desenvolvida na Inglaterra. Designada como fibra de vidro AR, que significa álcali-resistente, ela possui óxido de zircônio, o que possibilita controle do ataque alcalino do cimento e aumento na durabilidade.

Existem algumas alternativas na fabricação de painéis GRC, como: painel casca, que é formado por apenas uma camada de compósito e normalmente é utilizado em placas com tamanho reduzido; painel nervurado é o que recebe nervuras de reforço do próprio compósito em sua face interna; painel sanduíche é composto por duas camadas de GRC, possui um núcleo central, que atua como isolante térmico e/ou acústico, e nervuras internas de reforço; pode-se citar também

o painel com bastidor metálico ou *stud frame* (FIGURA 4), que é formado por uma fina camada de GRC e um quadro metálico que o torna rígido em sua face posterior (BARTH; VEFAGO, 2008).

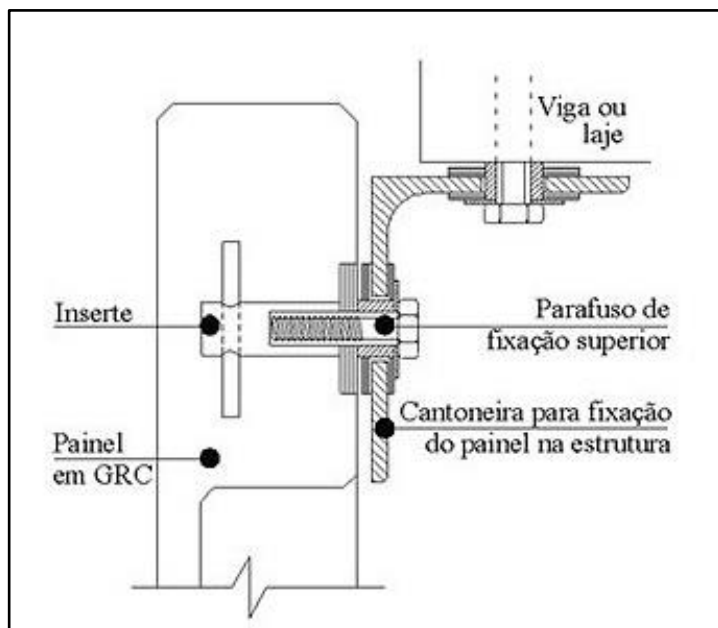
Figura 4 – Painéis de stud frame da faculdade de odontologia da ULBRA



Fonte: Barth e Vefago (2008).

Ainda segundo Barth e Vefago (2008), as placas de GRC são fixadas através de *inserts* metálicos (FIGURA 5), que são incorporados aos painéis durante a sua fabricação e que possibilitam o seu posicionamento correto e a sua contenção, garantindo a estabilidade e permitindo as possíveis movimentações que ocorrem devido às suas variações dimensionais. Os *inserts* devem ser galvanizados a quente, entretanto, quando utilizados em ambientes agressivos ou em fachadas com juntas abertas, devem ser fabricados com aço inoxidável.

Figura 5 – Esquema da fixação de um painel tipo sanduíche



Fonte: Barth e Vefago (2008).

2.3 Compósito cimentício de alto desempenho reforçado com fibras

Na construção civil, há uma grande utilização de concretos e argamassas de cimento *Portland*, devido a vários fatores como: o seu bom desempenho em relação a maioria das condições ambientais, versatilidade de aplicação, custo relativamente baixo e grande disponibilidade de materiais necessários para sua produção. Durante o século XX foram desenvolvidas novas tecnologias em relação aos componentes do concreto, como: aditivos e adições e produção e dimensionamento das estruturas. Apesar disso, a baixa resistência à tração continua sendo uma das principais características do concreto, quando comparada a resistência à compressão (PERRONE et al., 2012).

Segundo Guimarães (2016), o concreto simples é frágil e possui baixa resistência à tração e flexão. Para solucionar esse impasse, são adicionadas barras de aço, que é um material dúctil, à composição do concreto, formando o concreto armado. A ductilidade é a capacidade que um material tem de se deformar plasticamente antes de sua ruptura. Um material frágil como o concreto simples não se deforma plasticamente antes de romper, colapsando sem aviso prévio. Já o concreto armado, devido ao aço ser capaz de se deformar plasticamente, apresenta

um padrão de fissuras na peça ao estar próximo de sua ruptura, o que é importante, pois possibilita reparos antes da estrutura romper.

O concreto armado possui um cobrimento mínimo entre a superfície externa e as barras de aço, no qual, o concreto protege o aço da corrosão sofrida na presença de umidade e outros agentes agressivos. A utilização do concreto armado para elementos de fachada torna-se complicada, devido ao aço precisar desse cobrimento mínimo de proteção, enquanto, esses elementos geralmente apresentam pequena espessura. Com isso, estudos foram feitos buscando alternativas para reforçar a matriz cimentícia, uma das opções encontradas foi a adição de fibras (GUIMARÃES, 2016).

As primeiras pesquisas sobre os concretos de alto desempenho reforçados com fibras, denominados em inglês *de High Performance Fiber Reinforced Concrete* (HPFRC), ocorreram no final do século XX com o objetivo de encontrar alternativas para maximizar a resistência mecânica do concreto. Foram utilizadas duas abordagens para atingir esse objetivo, utilizando-se superplastificantes, argamassas e outros produtos. Apesar de conseguir aumentar a resistência à compressão e à tração dos materiais, o comportamento frágil do concreto na ruptura permaneceu. Portanto, a adição de fibras a esses compósitos foi essencial para o controle de fissuração e para aumentar a ductilidade de matrizes frágeis (GARCEZ, 2009).

Ainda segundo Garcez (2009), os concretos com altos teores de fibras se diferenciam pelas suas complexas técnicas de incorporação das fibras. No primeiro compósito com altos teores de fibras, as fôrmas eram preenchidas com um grande volume de fibras e posteriormente a argamassa era injetada sobre elas. Essa técnica gerava materiais com teores de fibra entre 4 e 15%, porém essas misturas não foram muito aplicadas devido à sua cara produção. Devido a esse entrave, pesquisadores passaram a utilizar técnicas especiais de fabricação de HPFRCs, havendo aumento na ductilidade sem ser necessária a utilização de teores de fibras tão elevados. Com isso, um grupo de materiais atualmente conhecido como ECC surgiu para suprir a principal deficiência nos concretos convencionais, o comportamento à tração.

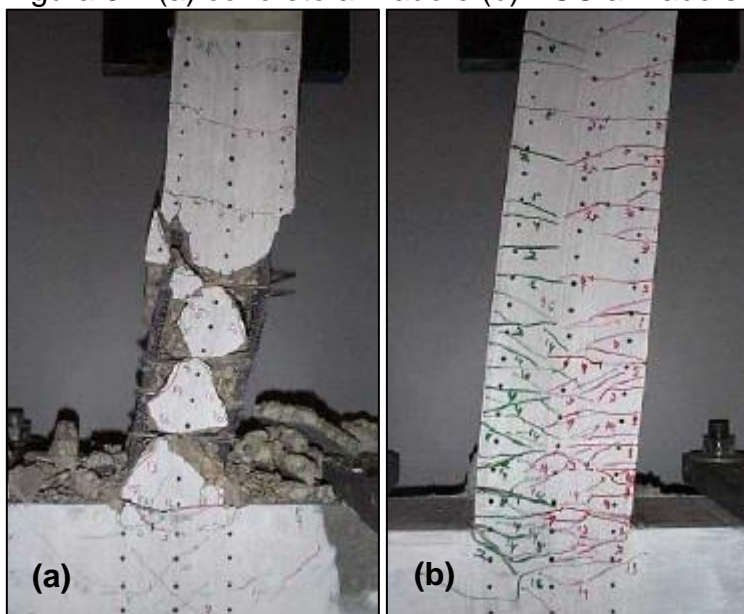
O ECC é uma categoria diferenciada de compósitos cimentícios de alto desempenho reforçado com fibras, designado a conferir alta ductilidade e maximizar a resistência à tração da mistura. Uma de suas principais características é o desenvolvimento de fissuras com pequena largura, que o torna capaz de resistir aos efeitos de clima quente, gélido e úmido, além de possuir um baixo coeficiente de permeabilidade e maior resistência à corrosão do aço, quando comparado a outros tipos de concreto (KEWALRAMANI; MOHAMED; SYED, 2016).

2.3.1 Funcionamento dos ECC

Os ECC são produzidos com teores de cimento duas ou três vezes maiores do que os concretos convencionais, isto facilita a dispersão das fibras, permitindo o controle da tenacidade da matriz (WANG; LI, 2007). Após surgir a primeira fissura, há uma estabilização na capacidade de carga do ECC, isso ocorre devido ao carregamento que antes era suportado pela matriz, agora é transferido para uma grande quantidade de fibras que interceptam a fissura. Essas fibras suportam as cargas e transferem o carregamento para outro ponto da matriz, causando a abertura de uma nova fissura, o que irá transferir o carregamento para as fibras dessa nova região. Esse processo ocorre repetidamente, causando o surgimento de várias microfissuras ao longo do compósito, porém, preservando a integridade global e evitando que o elemento rompa. Sendo assim, há uma menor probabilidade de ocorrer falha estrutural causada pelo compósito formado por elementos de ECC (GARCEZ, 2009).

Segundo Li (2003), os ECCs também são capazes de suportar esforços de cisalhamento, e com esse tipo de carregamento, o compósito desenvolve várias fissuras, com o desenvolvimento de fissuras alinhadas na direção normal à direção das tensões principais de tração. Como o ECC possui comportamento dúctil em relação à tração, o mesmo ocorrerá em relação ao cisalhamento. Em decorrência disso, elementos compostos de ECC podem diminuir ou até eliminar o uso de armadura de reforço, que resiste ao cisalhamento. Nas Figuras 6 (a) e 6 (b) de testes realizados por Li (2003), verifica-se a total inexistência de estribos na estrutura composta por ECC, mesmo assim, a tolerância ao dano é muito superior à da estrutura confeccionada em concreto armado.

Figura 6 – (a) concreto armado e (b) ECC armado sem estribos



Fonte: Adaptado de Li (2003).

2.3.2 Materiais constituintes do ECC

O ECC é uma mistura de componentes habituais existentes em argamassas convencionais como: água, cimento, areia e superplastificante, porém, com duas particularidades, a inexistência de agregados com diâmetro máximo acima de 0,4 mm e o reforço com fibras de álcool polivinílico (PVA). As argamassas tradicionais não apresentam boa ductilidade, tendo uma deformação máxima por tração em cerca de 0,01%, entretanto quando adicionada a fibra PVA, a argamassa passa a atingir uma deformação na ordem dos 3-5%. Este aumento na deformação, como descrito anteriormente, é possível devido ao ECC, quando sujeito à tração, ter uma formação controlada de microfissuras, isso só ocorre devido ao uso de PVA. Não existe uma composição única para obter o comportamento esperado do ECC, pois esse tema ainda exige novos estudos (BARROS, 2017).

No entanto, existem composições que servem como referência, propostas por investigadores desta área, como por exemplo a mistura denominada pelos pesquisadores Victor C. Li e Em-Hua Yang de M45, a qual foi testada a fim de investigar os efeitos das múltiplas trincas na auto cura do concreto (YU et al., 2010).

Tabela 1 – Composição M45 (Kg/m³)

Água	Cimento	Areia	Cinzas volantes	Superplastificante	Fibras PVA
331	570	455	684	4.9	26

Fonte: Sahmaran e Li (2009).

Nota-se a adição de cinza volante na composição, essas são resíduos gerados pelo processo de combustão nas usinas termelétricas a carvão e possuem características pozolânicas que reagem com o hidróxido de cálcio proveniente da hidratação do cimento. Sua utilização minimiza a quantidade de cimento necessária na composição (CASAGRANDE, 2012).

Essas cinzas geralmente são usadas juntamente com cimentos sem adições pozolânicas, como por exemplo o cimento Portland CP-V. Em substituição a esse cimento, poderia ser utilizado o CP-IV, que possui em sua composição de 15 a 50% de material pozolânico, o que descartaria o uso da cinza volante no ECC, ademais, esse cimento é facilmente encontrado no mercado e possui um valor acessível (ABCP, 2002).

2.3.2.1 Cimento

Em 1824, o construtor inglês Joseph Aspdin patenteou o cimento *Portland*. Como era comum na Inglaterra a construção com pedra de *Portland*, uma ilha que ficava ao sul, e a invenção de Aspdin possuía cor e dureza similares aos dessa pedra, ele nomeou o novo material como cimento *Portland* (SNIC, 2003). A Associação Brasileira de Cimento Portland o descreve (2002, p. 5) como: “um material fino com propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes, que endurece sob ação da água”. Após o seu endurecimento, mesmo que em contato com a água novamente, ele não irá se decompor mais. Esse material, juntamente com água, agregados miúdos e graúdos e eventualmente adições e aditivos, forma o concreto.

O cimento *Portland* é composto de clínquer e adições. O clínquer possui como matéria prima o calcário e a argila, provenientes de jazidas que em geral estão situadas perto das fábricas de cimento. O clínquer, quando em pó e na presença de água, desenvolve uma reação química, onde primeiramente torna-se pastoso, e posteriormente endurece e adquire elevada durabilidade e resistência. Já as

adições, são misturadas ao clínquer na fase de moagem e são principalmente elas que definem os diferentes tipos de cimento. Esses materiais são: gesso, escórias de alto forno, materiais carbonáticos e materiais pozzolânicos (CARMIN et al., 2011).

O cimento CP-IV, possui características pozzolânicas, e como explica a ABCP (2002): os materiais pozzolânicos, quando finamente divididos, reagem com o hidróxido de cálcio em presença de água e em temperatura ambiente, originando compostos com propriedades aglomerantes. Devido a isso, os materiais pozzolânicos são utilizados junto com o clínquer. A adição desses materiais, altera a microestrutura do concreto, diminuindo a porosidade capilar, a permeabilidade e a difusibilidade iônica e aumentando a estabilidade e a durabilidade do concreto. Estes fatores influenciam diretamente no comportamento do concreto, melhorando seu desempenho em relação a ação de sulfatos e da reação álcali-agregado. Além disso, outras propriedades sofrem alterações, como: diminuição do calor de hidratação, aumento da trabalhabilidade e da resistência à compressão em idades avançadas.

2.3.2.2 Água

Como explica Guimarães (2016), a água utilizada na mistura deve ser limpa e livre de matéria orgânica, ou seja, deve ser potável. Em hipótese alguma deve ser empregada água salgada ou de origem marítima. A água irá reagir quimicamente com o cimento, formando a pasta, além disso, ela funciona como lubrificante (BARROS, 2017).

2.3.2.3 Areia

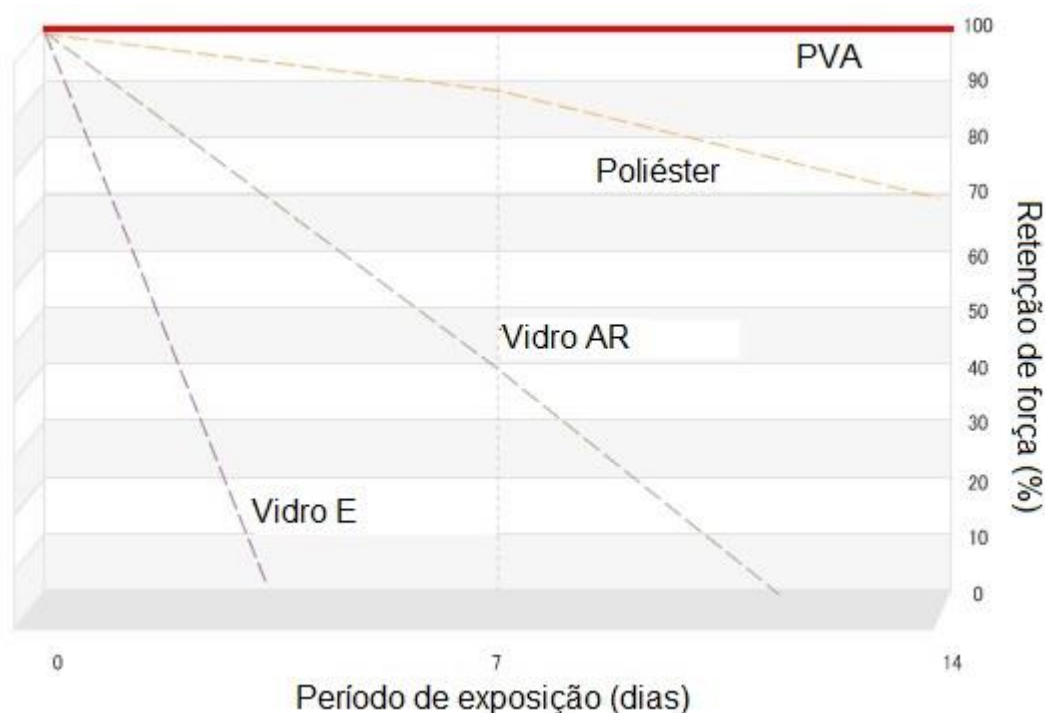
A areia mais utilizada para o ECC é a natural, que possui uma grande curva granulométrica. Apenas uma parte da granulometria é utilizada, devido à dimensão da partícula ter uma forte influência na matriz cimentícia. Conforme o tamanho das partículas aumenta, há uma redução quanto a resistência à tração, por isso deve-se utilizar uma areia cuja dimensão máxima varie entre 0,2 e 0,4 mm, a fim de obter melhor ductilidade ao material (BARROS, 2017).

2.3.2.4 Fibra de álcool polivinílico

A fibra de álcool polivinílico (PVA) é uma fibra sintética criada pela empresa japonesa Kuraray. Como algumas de suas características pode-se citar: alta resistência à tração; boa dispersão no concreto; boa adesão ao cimento; boa resistência às intempéries e boa resistência ao meio alcalino (KURARAY, 2017). A fibra PVA destaca-se entre as demais principalmente quanto a última característica citada, visto que, como dito anteriormente, outras fibras como a de vidro não possuem boa resistência quanto a esse fator. A alcalinidade do concreto pode ser explicada da seguinte maneira: o potencial hidrogeniônico (pH) é um índice que indica a acidez, neutralidade ou alcalinidade de uma substância. Os valores de pH variam de 0 a 14. Substâncias que possuem pH menor que 7 são consideradas ácidas; as que possuem pH igual a 7 são consideradas neutras; e as que possuem pH acima de 7 são consideradas alcalinas. Devido à sua reação com a água, o cimento libera hidróxido de cálcio, o que lhe confere uma alcalinidade elevada, que oscila na faixa de 12 a 12,5 (ABCP, 2018).

Para melhor ilustrar, o Gráfico 1 demonstra a resistência ao meio alcalino das fibras de PVA, poliéster e das fibras de vidro tipo AR e tipo E. Conforme o Gráfico 1, no eixo horizontal estão a quantidade de dias em que as fibras ficaram expostas ao meio alcalino e no eixo vertical está a quantidade em porcentagem da força retida de cada fibra ao final de 14 dias.

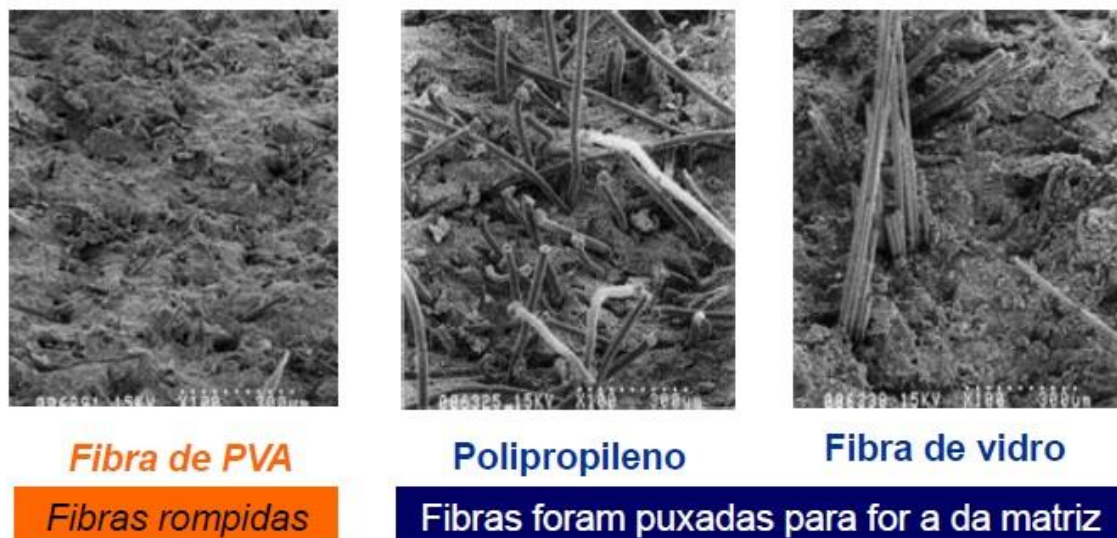
Gráfico 1 – Resistência das fibras em meio alcalino



Fonte: Kuraray (2018).

Como podemos observar, a fibra PVA é a única que ao final do período permaneceu com 100% de sua força retida, o que significa que ela não perdeu a sua resistência mesmo exposta à um meio agressivo. Outra característica importante da fibra PVA, é que dificilmente ela é puxada para fora da matriz de concreto (FIGURA 7), o que lhe permite fazer uma ponte entre as fissuras. Ela também previne o aparecimento de fissuras largas, tornando o concreto mais maleável sem o risco de quebrar. Em um estudo realizado pela Kuraray, a fibra de PVA pode reduzir em até 50% a largura de uma rachadura. O uso da fibra, dispersa uma grande fissura em várias microfissuras, mantendo assim, a impermeabilidade e a resistência a flexão do concreto (KURARAY, 2018).

Figura 7 – Superfície da ruptura de uma folha de concreto



Fonte: Kuraray (2018).

2.3.2.5 Aditivo Superplastificante

Segundo Guimarães (2016, p.14): “aditivo é qualquer produto que seja adicionado ao concreto, em pó ou líquido, que seja dosado em menos de 5% do peso do cimento e que acrescente propriedades ao concreto”. Para Barros (2017), o aditivo superplastificante é utilizado para controlar as propriedades reológicas do concreto em seu estado fresco. Além disso, proporciona trabalhabilidade à mistura e facilita a dispersão das fibras, aumentando sua resistência e durabilidade, e possibilita a utilização de menores teores de água.

2.3.3 Procedimento de mistura

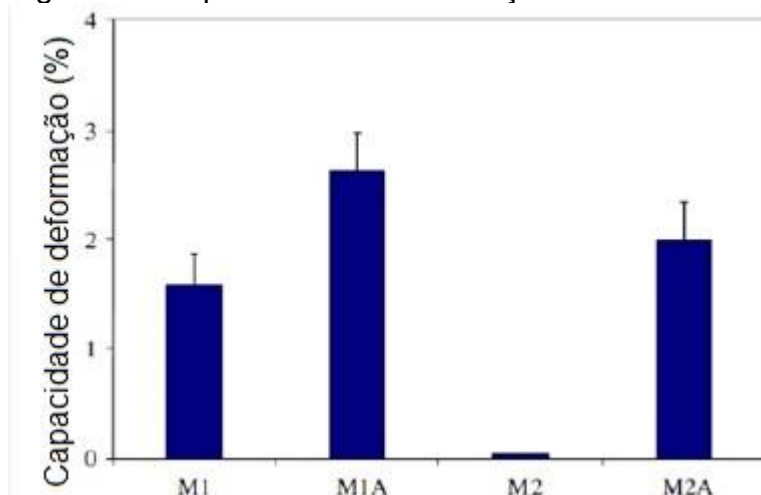
Para se obter boas propriedades mecânicas, a composição do ECC, o procedimento de mistura e a distribuição das fibras são fatores muito importantes e influenciam diretamente no seu desempenho final. Além disso, outro elemento a se considerar é a areia, que pode causar uma má distribuição das fibras, conforme o aumento do tamanho dos grãos, por isso, o diâmetro máximo da areia deve ser controlado. Estes fatores se relacionam entre si e diante disso o pesquisador Jian Zhou e sua equipe conduziram um estudo com diferentes tipos de procedimentos de mistura (BARROS, 2017).

Ainda conforme Barros (2017), no experimento de Zhou as composições de ECC foram divididas em 2 grupos, com e sem areia. No estudo foram realizados dois procedimentos: o procedimento padrão, que consiste na adição das fibras após a mistura de todos os materiais sólidos e líquidos e o procedimento reajustado para as composições com e sem areia. A sequência reajustada da mistura sem adição de areia é a seguinte:

- a) Mistura-se uma parte da água com os materiais sólidos e o superplastificante, a baixa velocidade e durante 1 minuto, em seguida, a alta velocidade durante 2 minutos;
- b) Adiciona-se as fibras e mistura-se a alta velocidade durante 2 minutos;
- c) Adiciona-se o restante da água e mistura-se a alta velocidade durante 2 minutos.

No estudo foi comprovado que o procedimento reajustado é mais eficaz e que eleva a capacidade de deformação do ECC. Na Figura 8 demonstra-se as composições M1 e M2, que seguiram o procedimento padrão, e as misturas M1A e M2A que seguiram o procedimento reajustado.

Figura 8 – Capacidade de deformação do ECC



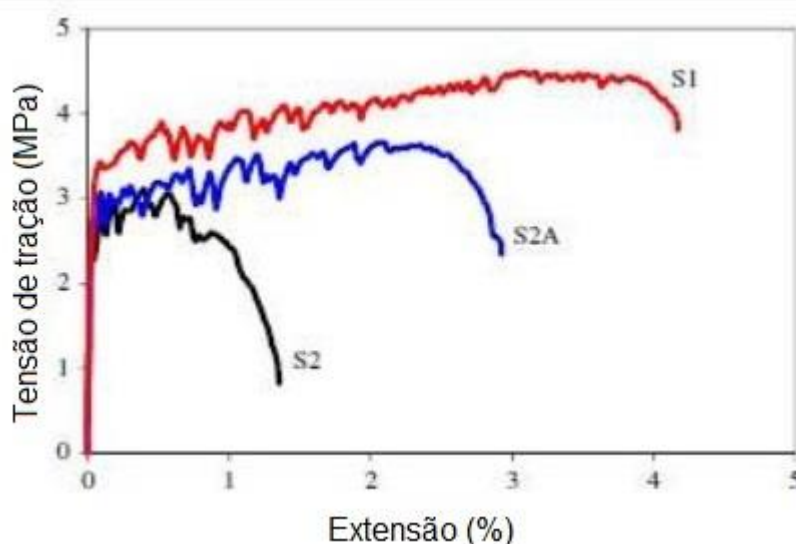
Fonte: Barros (2017, p. 13).

Ainda seguindo o procedimento, Barros (2017) explica que, a adição da areia a mistura pode levar a uma má distribuição das fibras. Com isso, o processo de mistura do ECC com areia não é igual ao anterior descrito, ele é desenvolvido da seguinte maneira:

- a) Adiciona-se os materiais sólidos, com exceção da areia, acrescenta-se água e o superplastificante, mistura-se em velocidade lenta durante 1 minuto e, em seguida, em alta velocidade durante 2 minutos;
- b) Adiciona-se as fibras e mistura-se durante 2 minutos em alta velocidade;
- c) Adiciona-se a areia e mistura-se durante 2 minutos em alta velocidade.

O processo descrito anteriormente foi aplicado as composições de ECC, S1 que não contém areia e S2 que contém areia. O segundo procedimento de ECC, foi aplicado na mistura S2A, que possui areia. Conforme mostra a figura 9, é possível verificar um ganho de resistência e ductilidade da mistura S2 para a S2A, sendo que somente o procedimento de mistura foi alterado (BARROS, 2017).

Figura 9 – Diagrama tensão x extensão dos ECCs



Fonte: Barros (2017).

Conforme resultados obtidos comprovou-se que a mistura ajustada com e sem areia, leva a uma melhora das propriedades mecânicas do ECC, especificamente, na resistência à tração e na deformação. Pode-se constatar ainda, que mesmo depois de ajustado, o procedimento com a mistura que contém areia deve ser diferente da mistura que não contém, devido a influência que ela causa na distribuição das fibras.

Garcez adotou outro procedimento de mistura, no qual, realizou em um misturador tipo Hobart, com 10 litros de capacidade. Primeiramente eram colocados os materiais sólidos e misturados até que se obtivesse uma mistura de pós uniforme. Em seguida era adicionado água e o aditivo superplastificante. A autora afirma que

nesta etapa de mistura, a pasta deve ser extremamente fluída, para permitir a completa dispersão das fibras que serão adicionadas posteriormente, porém, sem permitir a segregação dos materiais ou exsudação. As fibras eram adicionadas na mistura fluída, sendo necessário de 3 a 5 minutos de rotação em alta velocidade para a completa dispersão das mesmas (GARCEZ, 2009). A Figura 10 demonstra o processo de mistura.

Figura 10 – Processo de mistura: (a) mistura dos materiais secos, (b) aspecto da mistura após adição de água e superplastificante, (c) mistura após adição das fibras, (d) processo de moldagem de corpos de prova prismáticos



Fonte: Garcez, (2009).

2.3.4 Propriedades no estado fresco

Dependendo do tipo de cada material presente na mistura, as composições dos concretos apresentam diferentes características no estado fresco¹. Nesse estado, é possível medir a influência de parâmetros como a relação água/cimento,

¹ Estado fresco do concreto: é o período inicial da solidificação da pasta (EFFTING, 2014).

através de ensaios como o ensaio de espalhamento. Entretanto, esses ensaios não caracterizam propriedades fundamentais do concreto, como parâmetros reológicos², eles apenas servem para avaliar sua estabilidade (BARROS, 2017).

Para Sahmaran et al. (2012), o ensaio de espalhamento serve para avaliar a trabalhabilidade do concreto com ou sem o uso de fibras. A adição de fibras diminui consideravelmente essa propriedade, pois elas reduzem a água livre na mistura, como mostra a Figura 11. Entretanto, a fluidez do concreto pode ser mantida com o uso de aditivos superplastificante. Através desse ensaio, também é possível visualizar se há segregação do compósito, caso isso ocorra, a quantidade de aditivo superplastificante deve ser revista. No estudo feito por Barros (2017), ao realizar o ensaio de espalhamento, a maioria dos compósitos sem adição de fibras atingiram diâmetros na faixa de 325 mm a 400 mm. Posteriormente, foi testado o compósito com adição de 2% de fibras, o que provocou uma diminuição de 51 a 64% nos diâmetros de espalhamento.

Figura 11 – Resultado típico do ensaio de espalhamento com e sem fibras de PVA



Fonte: Sahmaran et al. (2012)

² Reologia: “a reologia é a ciência que estuda as propriedades mecânicas dos materiais que determinam seu escoamento quando solicitados por forças externas” (REIS, 2008, p. 55).

2.3.5 Propriedades no estado endurecido

Os painéis para fachadas compostos por GRC podem ser produzidos como peças inteiras, que vençam todo o pé direito ou apenas o vão entre esquadrias. A massa de seus componentes geralmente varia entre 50 e 120 kg/m² (quilograma por metro quadrado), dependendo de sua forma, dimensões e do tipo de acabamento. Suas dimensões mais comuns são de 1,5 a 3 m de altura por 2 a 6 m de comprimento, moldados com espessura de 13 mm (SILVA; JOHN, 1998). No Quadro 1 é apresentado o comportamento mecânico de painéis GRC aos 28 dias de idade.

Quadro 1 – Propriedades típicas de painéis GRC aos 28 dias

Propriedades	Valores de resistência (Mpa)
Resistência à tração	4 – 7
Resistência à compressão	40 – 60
Resistência à flexão	10 – 14

Fonte: Da autora, adaptado de Silva e John (1998).

2.3.5.1 Resistência mecânica à tração

O concreto simples possui um comportamento frágil e uma baixa resistência à tração quando comparado a sua resistência à compressão. A adição das fibras de PVA ao ECC melhoram o comportamento do material, aumentando a sua ductilidade. No entanto, a resistência à tração não tem um aumento significativo, atingindo valores entre 4 e 12 MPa (Megapascal) (LI, 2007).

Conforme explica Barros (2017), quando submetida a forças de tração, a matriz cimentícia forma sucessivas microfissuras, as fibras causam uma diminuição da velocidade de propagação das mesmas evitando a ruptura frágil, nesse ponto o material atinge a elevada ductilidade. Deste modo, é necessária uma energia superior para que ocorra a ruptura da matriz.

2.3.5.2 Resistência mecânica à compressão

Segundo Li (2007), o ECC apresenta valores de resistência à compressão semelhantes aos de argamassas e concretos tradicionais, ficando na faixa de 20 a

95 MPa. Já o módulo de elasticidade é menor quando comparado ao concreto convencional, devido a inexistência de agregado graúdo na mistura. Os valores desse parâmetro ficam em torno de 18 a 34 GPa (Gigapascal).

2.3.5.3 Resistência mecânica à flexão

Quando o ECC é submetido à flexão, a sua deformação é acompanhada da formação de várias fissuras, tais fissuras apresentam uma largura bastante reduzida, mesmo quando sujeita a grandes deformações. O tamanho das fissuras é em média abaixo de 60 µm (micrometro), e essa abertura tende a se estabilizar e permanecer constante. Para avaliar o comportamento do ECC à flexão, utiliza-se o ensaio de flexão por 3 ou 4 pontos, sendo que as cargas que ele atinge variam entre 10 a 30 MPa (BARROS, 2017).

Conforme a *International Glassfibre Reinforced Concrete Association* (GRCA, 2018), que em português significa Associação Internacional do Concreto Reforçado com Fibra de Vidro, para o GRC a resistência à flexão é a propriedade física mais importante e mais testada e é nela que se baseiam a maioria dos projetos. O GRC é classificado pela sua resistência à flexão do mesmo modo em que o concreto é classificado pela resistência à compressão, como por exemplo, C50. Como explica Guimarães (2016, p.18): “O GRC grade 18 significa uma resistência à flexão (módulo de ruptura) característica de 18 MPa aos 28 dias”.

2.3.5.4 Retração

A retração inicia após o contato do cimento com a água e ocorre tanto no estado endurecido quanto no estado fresco. Devido a algumas características como, a falta de agregado graúdo e a elevada relação água/cimento, o ECC demonstra elevadas extensões de retração por secagem no período do seu endurecimento. Estudos revelam que grande parte da retração acontece na primeira semana e diminui ao longo do tempo (BARROS, 2017).

2.3.5.5 Durabilidade

A criação de novos materiais cimentícios tem sido impulsionada pela necessidade do aumento da durabilidade. Esses materiais possuem porosidade, por onde pode ocorrer a interação com o ambiente e uma possível influência em sua resistência mecânica. Logo, garantir a manutenção dessa resistência fiel àquela inicialmente projetada, garantindo a durabilidade, é primordial para mantê-los competitivos em relação aos demais materiais utilizados na construção civil (ROSSETO, 2007). Como explica Barros (2017), na construção de novas estruturas ou na reforma de estruturas já existentes, procura-se cumprir vários requisitos para que não haja custos adicionais e inesperados. Em estruturas de concreto armado, a fissuração é um dos fatores que interferem na durabilidade, pois elas facilitam a entrada de agentes agressivos como a água

O ECC possui uma grande capacidade de deformação, por isso, presume-se que ele seja aplicado em locais submetidos a esforços de tração, acarretando a formação de microfissuras. É a largura reduzida da fissura do ECC que protege o aço contra a corrosão, sendo que quando comparada com as fissuras de um concreto tradicional apresenta-se bem menor, o que resulta num aumento da durabilidade da estrutura. Todavia, o ECC é um material relativamente novo e não possui grande número de aplicações em ambientes naturais, em razão disso, não há como garantir o seu comportamento nessas condições. Entretanto, estudos afirmam que o ECC pode ser um material durável (BARROS, 2017).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo aborda o programa experimental utilizado no estudo. Além disso, descreve os métodos, materiais adotados, normas, equipamentos utilizados e a sequência dos procedimentos executados no estudo. Como visto anteriormente, tanto o ECC quanto a fibra PVA são materiais que ainda carecem de bastante estudo e que não são muito difundidos no Brasil. Por conta disso, alguns ensaios realizados foram baseados nas normas do GRC.

Para realização dos ensaios, o traço que serviu como base foi o da mistura M45, já apresentado anteriormente. Entretanto, devido a utilização do cimento CP-IV, não foi feito uso da cinza volante. Foram utilizadas três porcentagens de fibras: 1,0%, 1,5% e 2%. A seguir, o quadro 2 apresenta o traço unitário em massa.

Quadro 2 – Traço unitário

Material	Traço unitário
Cimento CP IV	1,0
Areia	0,8
Água	0,6
Superplastificante	0,8%*
Fibra PVA	1,0; 1,50 e 2,00%*

* Percentual sobre a massa de cimento.

Fonte: Adaptado de Sahmaran e Li (2009).

Para a dosagem e moldagem dos corpos de prova, foram feitos 45 L de concreto em uma betoneira de pequeno porte. Todos os materiais foram adicionados

com exceção da fibra. Esta quantidade de material foi calculada para a moldagem de todos os CPs necessários, em cada moldagem o teor de fibra era recalculado e adicionado a mistura. Na primeira moldagem, antes da fibra ser adicionada notou-se no concreto um comportamento diferente, apresentava um aspecto parecido com “chicle”, no qual, não seria possível incorporar as fibras. Logo, o traço foi adaptado para que ficasse mais fluído, foi adicionado 1 kg de água e 0,07 Kg de aditivo superplastificante, o traço final está apresentado no Quadro 3.

Quadro 3 – Traço final

Material	Traço em massa
Cimento CP IV	56,4 Kg
Areia	20,5 Kg
Água	15,9 Kg
Superplastificante	0,29 Kg
Fibra PVA	1,0; 1,50 e 2,00%*

* Percentual sobre a massa de cimento.

Fonte: Da autora, (2018).

3.1 Materiais

Nesta etapa, serão apresentados os materiais utilizados para a confecção do ECC. O mesmo é composto por cimento, água, areia e aditivo superplastificante, descritos a seguir.

3.1.1 Cimento

Devido a sua composição pozolânica o cimento escolhido para esse trabalho foi o CP-IV. Sua caracterização foi realizada através do ensaio de massa específica e suas especificações estão apresentadas no Quadro 4.

Quadro 4 – Composição do cimento pozolânico

Tipo de cimento portland	Sigla	Composição (% em massa)			Norma Brasileira
		Clínquer + gesso	Material pozolânico	Material carbonático	
Pozolânico	CP-IV	85-45	15-50	0-5	NBR 5736

Fonte: Adaptado de ABNT (2002).

3.1.2 Água

A água empregada na confecção do ECC foi a fornecida pela rede de abastecimento local.

3.1.3 Areia

Foi utilizado areia natural, a mesma deveria ter variação dimensional máxima entre 0,2 e 0,4 mm. O diâmetro necessário foi obtido através de peneiramento. Para caracterização da areia foram realizados os ensaios de massa unitária, massa aparente e massa específica.

3.1.4 Fibra

As fibras utilizadas serão as de álcool polivinílico (PVA) (Figura 12), fornecidas pela empresa japonesa Kuraray. Elas serão do tipo RECS 15/12 mm e suas características estão descritas no Quadro 5.

Figura 12 – Aparência das fibras PVA



Fonte: Barros (2017).

Quadro 5 – Características da fibra PVA

Fibras de PVA	
Diâmetro	0,04 mm
Comprimento	12 mm
Módulo de elasticidade	41 GPa
Resistência à tração	1600 MPa
Elongação até a quebra	6 %
Densidade	1,3 g/cm ³

Fonte: Da autora, adaptado de Kuraray (2018).

3.1.5 Superplastificante

O aditivo superplastificante utilizado foi o Suplast Rodo 52017 produzido pela empresa Rodo Química. Ele possui a cor translúcida/amarelada e suas principais propriedades são: reduz a demanda de água; melhora a trabalhabilidade; produz

concretos com alta durabilidade; boa dispersão das partículas de cimento; aumenta a resistência à compressão e à flexão, entre outras (RODO QUÍMICA, 2018).

3.2 Ensaios realizados

Os ensaios realizados foram divididos em: ensaio no estado fresco, que consiste no ensaio de espalhamento; e ensaios no estado endurecido, que são: ensaio de resistência à compressão, à tração e à flexão, além dos ensaios de caracterização dos materiais. Os mesmos são descritos a seguir.

3.2.1 Caracterização dos materiais

A caracterização do cimento e da areia foi realizada através dos ensaios de massa unitária da areia, massa específica do cimento, massa específica e massa aparente da areia. Os resultados obtidos encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2 – Valores dos ensaios de caracterização dos materiais

Ensaio	Valor
Massa unitária da areia	1,42 Kg/m ³
Massa específica do cimento	3,24 g/cm ³
Massa específica da areia	2,21 g/cm ³
Massa específica aparente da areia	2,35 g/cm ³

Fonte: Da autora (2018).

3.2.1.1 Massa unitária da areia

É dada pela relação entre a massa da areia lançada no recipiente e o volume deste recipiente. A norma que rege este ensaio é a NBR NM 45 (ABNT, 2006) - Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios.

3.2.1.2 Massa específica e massa aparente da areia

A massa específica da areia é dada por meio da relação entre a massa do agregado seco e seu volume, excluindo os poros permeáveis. Já a massa aparente da areia, é obtida através da relação entre a massa do agregado seco e seu volume, incluindo os poros permeáveis. Esses ensaios foram baseados na NBR NM 52 (ABNT, 2003) - Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente.

3.2.1.3 Massa específica do cimento

Este ensaio visa determinar a massa específica do cimento Portland, por meio do frasco volumétrico de Le Chatelier. A massa específica é a massa de uma unidade de volume do material. Este ensaio é normatizado pela NBR 16605 (ABNT, 2017) - Cimento Portland e outros materiais em pó — Determinação da massa específica.

3.2.4 Ensaio de espalhamento

Como explica Sahmaran et al. (2012), para o ensaio de espalhamento, são necessários um cone e um prato liso, o cone utilizado é de 125 x 80 x 65 mm. Colocou-se o cone sobre o prato liso e preencheu-se com concreto, posteriormente levantou-se o cone e esperou-se o concreto estabilizar. Com o concreto parado mediu-se dois diâmetros ortogonais na área de espalhamento e o valor final deu-se através da média entre os dois. Este ensaio foi realizado logo após a dosagem do concreto, sendo primeiramente sem fibras e posteriormente para as três porcentagens de fibras.

3.2.5 Ensaio de resistência à compressão

Segundo Garcez (2009, p. 92): “a resistência à compressão é a propriedade do concreto mais comumente medida para fins de controle tecnológico”. Por isso o ensaio foi incorporado a esse trabalho, o mesmo está descrito na norma NBR 7215 (ABNT, 1996) - Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão. Para

a realização deste ensaio foram utilizados dois corpos de prova cilíndricos com 5 cm de diâmetro e 10 cm de altura. Após a moldagem, os corpos de prova permaneceram em uma superfície horizontal rígida e protegidos de intempéries. O rompimento dos corpos de prova ocorreu aos 28 dias.

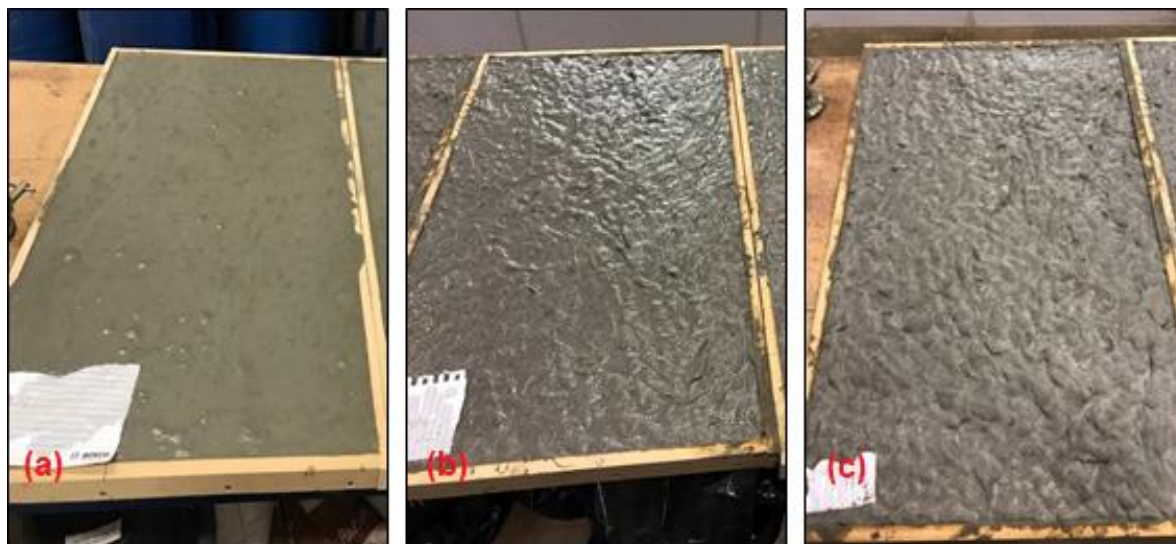
3.2.6 Ensaio de resistência à tração

Como explica Guimarães (2016), o ensaio de resistência à tração é realizado como parte do controle de qualidade do concreto, assim como para o GRC não existe um método de ensaio normatizado para o ECC. Logo, será usado como parâmetro o ensaio apresentado pela norma NBR 7222 (ABNT, 2011) - Concreto e argamassa — Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Neste ensaio foram utilizados dois corpos de prova cilíndricos 5 x 10 cm, os mesmos foram ensaiados aos 28 dias.

3.2.7 Ensaio de resistência à flexão

Bem como o GRC, o ECC é um concreto reforçado com fibras, porém ainda não possui muitas bibliografias a seu respeito nem uma norma que o regule. Alguns aspectos deste estudo são baseados no GRC, como o ensaio de resistência à flexão, que está descrito na NBR 15306-4 (ABNT, 2005) - Produtos pré-fabricados de materiais cimentícios reforçados com fibra de vidro - método de ensaio. Parte 4: Medição da resistência à flexão - Método “ensaio simplificado de flexão”. Para este ensaio foram moldadas 6 placas planas com 500 mm x 800 mm, duas para cada porcentagem de fibra. A Figura 13, demonstra o aspecto após a moldagem de cada placa.

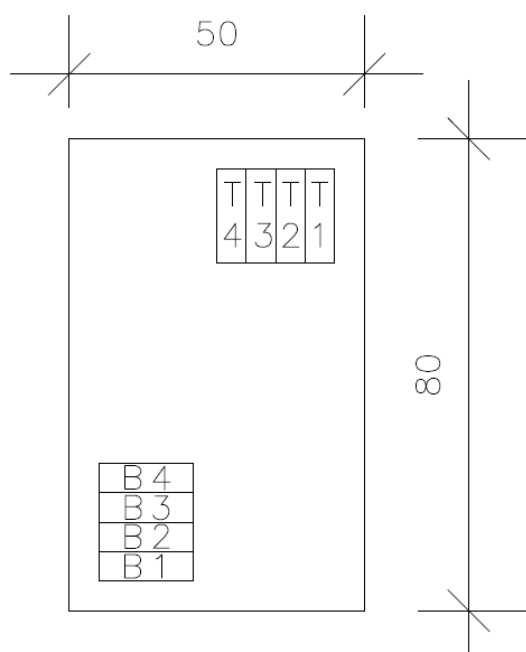
Figura 13 – (a) Placa com 1% de fibra; (b) Placa com 1,5% de fibra; (c) Placa com 2,0% de fibra



Fonte: Da autora (2018).

Destas placas, foram cortados 8 corpos de prova de 50 x 160 mm (FIGURA 14). Os corpos de prova foram cortados no mesmo dia da desmoldagem da placa e permaneceram em condições de cura até a idade de seis dias. Posteriormente foram imergidos em um recipiente cheio de água, durante 24 h. O ensaio foi efetuado no máximo 30 minutos após a retirada dos corpos de prova da água, como prevê a norma. O mesmo procedimento ocorreu para a realização do ensaio aos 28 dias.

Figura 14 – Posição em que os corpos de prova devem ser cortados



Fonte: Adaptado de ABNT (2005).

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 Espalhamento

Primeiramente, mediu-se a consistência do concreto sem adição de fibras. Os diâmetros ortogonais obtidos foram 46 e 48 cm, logo, a média entre os dois ficou em 47 cm. Através dos valores de diâmetro e da Figura 15, percebe-se que a mistura estava bastante fluida, o que se fez necessário para que as fibras pudessem ser incorporadas no concreto.

Figura 15 – Espalhamento sem fibras



Fonte: Da autora (2018).

Para o traço com porcentagem de 1%, o ensaio de espalhamento apresentou os diâmetros de 23 e 21 cm (FIGURA 16). A média entre os dois diâmetros ortogonais ficou em 22 cm. Em relação ao primeiro ensaio, houve uma redução de 53%.

Figura 16 – Espalhamento com 1% de fibras



Fonte: Da autora (2018).

Para o traço com 1,5% de fibras, foram obtidos diâmetros de 14 e 15 cm, dando em média 14,5 cm (FIGURA 17). Em relação a mistura sem fibras, houve uma redução de 69% no diâmetro médio, já em relação a mistura com 1,0% de fibras, a diminuição foi de 34%.

Figura 17 – Espalhamento com 1,5% de fibras



Fonte: Da autora (2018).

Para o traço com porcentagem de 2,0% de fibras, os dois diâmetros ortogonais obtidos foram de 10 cm (FIGURA 18). Quando comparado a mistura sem fibras, a redução no diâmetro médio foi de 79%, já em relação a mistura anterior de 1,5%, houve uma redução de 31%. Com o aumento do teor de fibras, pode-se perceber uma diminuição na trabalhabilidade e um acréscimo na dificuldade da moldagem dos corpos de prova.

Figura 18 – Espalhamento com 2,0% de fibras



Fonte: Da autora (2018).

4.2 Tração

Os resultados de resistência mecânica à tração, foram obtidos aos 28 dias através de dois corpos de prova cilíndricos de 5 x 10 cm para cada teor de fibra. Os valores encontram-se na Tabela 3.

Tabela 3 – Resultados de resistência à tração aos 28 dias

% de fibra	CP	Resistência (Mpa)	Média
1,0	1	4,00	4,71 Mpa
	2	5,42	
1,5	1	4,40	4,77 Mpa
	2	5,14	
2,0	1	4,09	4,60 Mpa
	2	5,12	

Fonte: Da autora (2018).

A resistência mecânica à tração (figura 19) atingiu valores esperados, quando comparados aos resultados do GRC proporcionados por Silva e John (1998), que variam de 4 a 7 MPa. Quando comparados a valores de tração do ECC, os resultados também ficaram dentro de uma faixa já conhecida. Conforme apresentado por Li (2007), os valores variam de 4 a 12 MPa.

Figura 19 – Ensaio de resistência à tração



Fonte: Da autora (2018).

Outra característica citada por Li (2007), pôde ser constatada, a adição das fibras de PVA ao compósito, fez com que ele tivesse um comportamento dúctil, porém, não teve um aumento significativo na sua resistência. Durante o ensaio, os corpos de prova atingiram a sua capacidade máxima de carga, não rompendo bruscamente, apenas apresentaram pequenas fissuras (FIGURA 20).

Figura 20 – Fissuras no corpo de prova após o ensaio



***Escala da figura: 1,5/1**

Fonte: Da autora (2018).

4.3 Compressão

Assim como no ensaio de resistência à tração, no ensaio de resistência mecânica à compressão foram ensaiados dois corpos de prova cilíndrico aos 28 dias de idade para cada teor de fibra. Os resultados obtidos encontram-se na Tabela 4.

Tabela 4 – Resultados de resistência à compressão aos 28 dias

% de fibra	CP	Resistência (MPa)	Média
1,0	1	55,24	54,85 Mpa
	2	54,46	
1,5	1	37,37	37,30 Mpa
	2	37,24	
2,0	1	45,40	40,46 Mpa
	2	35,52	

Fonte: Da autora (2018).

Os valores de resistência à compressão atingidos pelo compósito com teor de 1% de fibra, quase alcançaram o valor máximo de resistência à compressão do GRC, fornecidos por Silva e John (1998) que é de 40 a 60 MPa. Já os resultados para a porcentagem de 1,5% chegaram perto do valor mínimo e a mistura com 2% de fibras, em média, ficou dentro da faixa do GRC. As três misturas ficaram dentro da faixa de valores de resistência à compressão que o ECC atinge, sendo ela de 20 a 95 MPa.

Notou-se durante o ensaio, que nenhum dos corpos de prova quebrou, reafirmando a característica de ductilidade que possui o ECC. Após ter atingido sua máxima resistência, o corpo de prova foi prensado até a capacidade máxima da máquina, mesmo assim ele não quebrou, apenas deformou-se (FIGURA 21).

Figura 21 – Corpo de prova sendo prensado



Fonte: Da autora (2018).

4.4 Flexão

O ensaio de resistência mecânica à flexão nos quatro pontos, foi realizado em 8 corpos de prova de 5 x 16 cm para cada traço, aos 7 e aos 28 dias. Os valores obtidos encontram-se na Tabela 5.

Tabela 5 – Resultados da resistência à flexão

Idade dos CPs	7 dias			28 dias			CPs
Teor de fibras (%)	1	1,5	2	1	1,5	2	
Resistência (MPa)	11,18	6,10	7,12	12,20	9,15	15,25	B1
	15,25	5,08	9,15	9,15	7,12	7,12	B2
	13,22	6,10	10,17	10,17	11,18	7,12	B3
	12,20	6,10	10,17	10,17	4,07	7,12	B4
	12,20	9,15	5,08	14,24	8,13	8,13	T1
	6,10	5,08	3,17	12,20	10,17	8,13	T2
	8,13	6,10	3,05	14,24	11,18	6,10	T3
	9,15	7,12	5,08	11,18	11,18	7,12	T4
Média	10,93	6,36	6,62	11,69	9,02	8,26	

Fonte: Da autora (2018).

Quando comparados individualmente, vários corpos de prova atingiram a resistência mínima à flexão tanto do GRC, quanto do ECC. Nos valores apresentados por Silva e John (1998) o GRC possui uma resistência à flexão que varia de 10 a 14 MPa. Os valores de resistência à flexão do ECC apresentados por Barros (2017) variam de 10 a 30 MPa. Porém, avaliando as médias, nota-se que apenas o traço com 1% de fibras atingiu o valor mínimo de resistência à flexão.

Foram analisados mais especificamente os valores obtidos aos 28 dias, pois é a mesma idade dos valores conhecidos do GRC. Para saber se havia diferença significativa entre as médias, realizou-se a análise de variância (ANOVA), os resultados encontrados estão nas Tabelas 6 e 7.

Tabela 6 – Resumo da análise de variância

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância
1	8	93,55	11,69	3,54
1,5	8	72,19	9,02	6,33
2	8	66,09	8,26	8,40

Fonte: Da autora (2018).


Tabela 7 – Análise de variância

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	51,96	2	25,98	4,26	0,03	3,47
Dentro dos grupos	127,95	21	6,09			
Total	179,90	23				

Fonte: Da autora (2018).

Conforme a Tabela 7, o valor de F é maior que o valor de F crítico, mostrando que há pelo menos um par de médias diferentes. Entretanto, a ANOVA não consegue identificar quantas médias são diferentes, nem qual difere de qual, para isso foi realizado o teste de Tukey através do *software* Past.

Figura 22 – Teste de Tukey


Several-sample tests

One-way ANOVA

Residuals

Tukey's pairwise

Kruskal-Wallis

Mann-Whitney pairwise

Dunn's post hoc

Tukey's Q below the diagonal, p(same) above the diagonal.

Significant comparisons are pink.

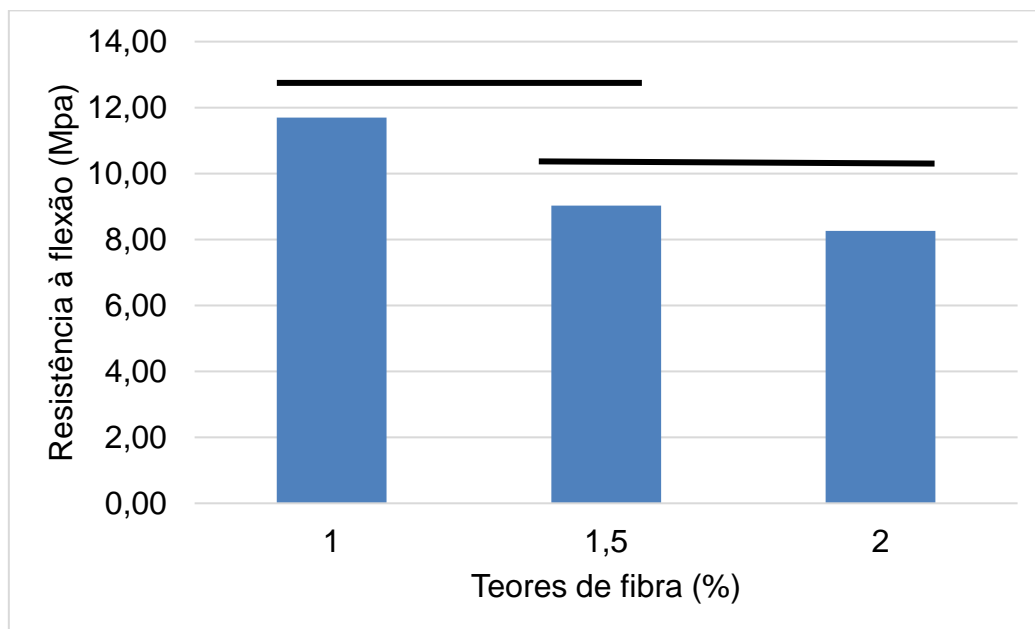
Copenhaver-Holland 1988

	A	B	C
A		0,1009	0,02885
B	3,062		0,8125
C	3,935	0,8726	

Fonte: Da autora (2018).

A coluna A representa 1,0% de fibras, a coluna B, 1,5% e a coluna C, 2,0%. O resultado destacado em rosa é o valor que difere. Ou seja, pelo teste de Tukey pode-se comprovar que a média do teor de 2% é diferente da média do teor de 1%, porém não há diferença entre as médias de 1,0 e 1,5%, nem entre 1,5 e 2,0% (GRÁFICO 2).

Gráfico 2 – Valores médios de resistência à flexão



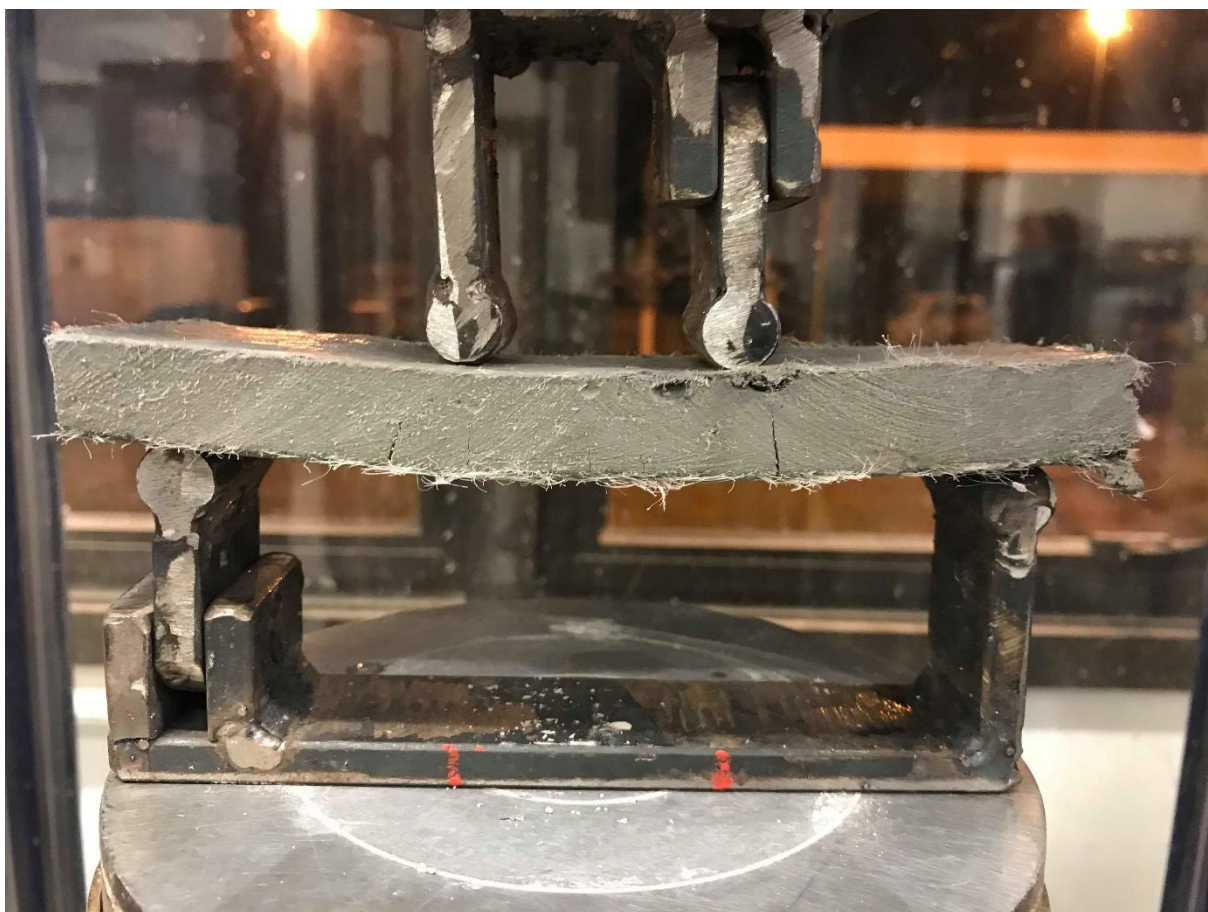
Fonte: Da autora (2018).

Pelos valores das médias e através do teste de Tukey, pode-se comprovar, que há uma diferença significativa nos valores da resistência entre a mistura com 1,0% e 2,0% de fibras, sendo que a mistura com o menor teor apresentou um melhor resultado. Observa-se também, que conforme o aumento da porcentagem de fibras

há uma diminuição na resistência. Isso provavelmente ocorreu, devido à dificuldade na moldagem dos corpos de prova com maiores teores de fibra.

Ao realizar o ensaio de resistência à flexão, os corpos de prova (CP) apresentaram elevada ductilidade e alta capacidade de deformação (FIGURA 23). Assim como nos ensaios de resistência à tração e à compressão os CPs não, apenas fissuraram, mesmo após terem suportado sua carga máxima (FIGURA 24). Outra característica do ECC que pôde ser comprovada, foi a estabilização da capacidade de carga após a abertura da primeira fissura, é isso que impede um elemento composto em ECC de romper bruscamente.

Figura 23 – Ensaio de resistência à flexão nos 4 pontos



Fonte: Da autora (2018).

Figura 24 – Corpo de prova após o ensaio



Fonte: Da autora (2018).

5 CONCLUSÃO

Ao final deste estudo todos os ensaios propostos foram realizados com êxito. Demonstrando que a utilização do compósito ECC na utilização de placas de fachada pré-fabricadas é viável. Apesar de haver poucos estudos sobre o assunto e por ter sido testado desta maneira pela primeira vez, o ECC atingiu valores de resistência satisfatórios e dentro da faixa de valores do GRC.

Durante a realização dos ensaios, tornou-se clara a alta ductilidade que possui o ECC, sendo que nenhum corpo de prova quebrou, apenas fissurou. No ensaio de tração a fibra não exerceu grande influencia em relação a resistência, diferente dos ensaios de compressão e flexão, onde os melhores resultados foram com o teor de 1%. Entretanto, não há como saber qual o valor ótimo de porcentagem, pois teriam que ser testados valores abaixo de 1,0%, já que 2,0% é o máximo recomendado pelos pesquisadores do ECC. Quanto aos teores de fibras analisados no ensaio de espalhamento, percebeu-se que o aumento na quantidade de fibras reduz a trabalhabilidade consideravelmente, dificultando a moldagem dos corpos de prova.

Por fim, conclui-se que os valores das resistências mecânica à tração, compressão e flexão dos compósitos testados equiparam-se aos valores de resistência conhecidos do GRC. O que difere o ECC é a sua alta ductilidade e elevada capacidade de deformação, além da formação de microfissuras, devido ao emprego da fibra de álcool polivinílico. Essas microfissuras ajudam na proteção do aço contra a corrosão e a longo prazo resulta em um aumento na durabilidade da estrutura. Diante disso, os objetivos propostos para este trabalho foram alcançados.

REFERÊNCIAS

ALVES, Maurício K. **Industrialização na construção civil**: Análise da possibilidade de adoção de ações de um programa de desenvolvimento tecnológico europeu na construção civil brasileiro. 2016. 60 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (São Paulo). **Guia Básico de Utilização do Cimento Portland**. 7. ed. São Paulo, 2002. 28 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12142**: Concreto - Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos. Rio de Janeiro, 2010.

_____. **NBR NM 45**: Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

_____. **NBR NM 52**: Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR 15306-4**: Medição da resistência à flexão - Método "ensaio simplificado de flexão". Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 16605**: Cimento Portland e outros materiais em pó — Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2017.

_____. **NBR 5736**: Cimento Portland pozolânico. Rio de Janeiro, 1991.

_____. **NBR 5739**: Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 1994.

_____. **NBR 7215**: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1996.

_____. **NBR 7222**: Concreto e argamassa — Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2011.

BARROS, Sofia M. F. **Caracterização de argamassas com fibras de PVA para reforço de paredes de alvenaria**. 2017. 106 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade do Porto, Porto, 2017.

BARTH, Fernando; VEFAGO, Luiz Henrique M. **Fachadas pré-fabricadas de GRC**. 2008. Disponível em: <<http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/08.092/178Possibilidade>>. Acesso em: 12 abr. 2018.

CARMIN JUNIOR, Ademir C. et al. **Cimento Portland**. Marabá, abr. 2011. 40 p.

CASAGRANDE, Édina Q. **Compósitos cimentícios reforçados com fibras de polipropileno e com adição de cinza volante: Estudo do desempenho em pavimentos de concreto**. 2012. 79 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

CIMENTOS, Votorantim. **Painéis pré-fabricados de concreto garantem velocidade às obras**. 2016. Disponível em: <<http://www.mapadaobra.com.br/negocios/paineis-pre-fabricados-de-concreto-garantem-velocidade-as-obras/>>. Acesso em: 10 abr. 2018.

CORSINI, Rodnei. **Fachadas montadas: Painéis pré-fabricados permitem velocidade de montagem e diversidade de acabamentos**. 2011. Disponível em: <<http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/179/artigo285916-3.aspx>>. Acesso em: 10 abr. 2018.

DEBS, Luciana de C. El; FERREIRA, Sérgio L. **Diretrizes para processo de projeto de fachadas com painéis pré-fabricados de concreto em ambiente BIM**. Porto Alegre, v. 14, n. 2, jun. 2014. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-86212014000200004>. Acesso em: 12 abr. 2018.

EFFTING, Carmeane. **Propriedades do concreto fresco e endurecido**. Joinville, 2014. 59 slides. Disponível em: <<https://www.passeidireto.com/arquivo/28698527/aula-2-e-3-propriedades-do-concreto-fresco-e-endurecido-prof--dra-carmeane-effti>>. Acesso em: 20 mar. 2018.

FERNANDES, José L. R. **Tratamento de juntas em painéis de GRC**. 2008. 112 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade do Porto, Porto, 2008.

GARCEZ, Estela O. **Investigação do Comportamento de Engineered Cementitious Composites Reforçados com Fibras de Polipropileno como Material para Recapeamento de Pavimentos**. 2009. 194 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

KEWALRAMANI, Manish A.; MOHAMED, Osama A.; SYED, Z. I. Engineered Cementitious Composites for Modern Civil Engineereng Structures in Hot Arid Coastal Climatic Conditions. **Procedia Engineering**. Amsterdam, p. 767-774. 2017.

KURARAY. **Fibras.** [mensagem pessoal] Mensagem recebida por: <0tuanny0@gmail.com>. em: 1 dez. 2017.

_____. **Physical Properties.** Disponível em: <<http://www.kuraray-vf.jp/en/performance/chemical.html>>. Acesso em: 20 mar. 2018.

LAMEIRAS, Rodrigo de M. **Contribuição ao estudo das propriedades dos materiais cimentícios reforçados com fibras de vidro (Glass Fibre Reinforced Cement - GRC).** 2007. 255 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

LI, Victor C. On Engineered Cementitious Composites (ECC): A review of the material and its applications. **Journal of Advanced Concrete Technology.** Tóquio, p. 215-230. abr. 2003

_____. **Engineered Cementitious Composites (ECC) – Material, Structural, and Durability Performance.** 78 f. Ann Arborago, 2007.

MAGALHÃES, Margareth da S. **Caracterização experimental de compósitos cimentícios reforçados com fibras de PVA:** Processo de fratura propriedades térmicas, deformações diferidas e estabilidade térmica. 2010. 245 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

MOURA, Artur; SÁ, Maria das Vitórias V. A. de. Influência da racionalização e industrialização na construção sustentável. **Tecnologia e Informação,** Rio Grande do Norte, v. 1, n. 1, p. 72, fev. 2013.

OLIVEIRA, Luciana A. de. **Metodologia para desenvolvimento de projeto de fachadas leves.** 2009. 287 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

PERRONE, Vítor C. et al. Avaliação da influência do teor de agregados no comportamento em compressão de compósitos tipo SHCC. **Ibracon,** Porto Alegre, p.2, out. 2012.

PORTLAND, Associação Brasileira de Cimento. **O cimento pode causar algum mal à saúde?** Disponível em: <<http://www.abcp.org.br/cms/perguntas-frequentes/o-cimento-pode-causar-algum-mal-a-saude/>>. Acesso em: 20 mar. 2018.

REIS, João F. A. **Determinação de Parâmetros Reológicos de Concretos Através do Ensaio de Abatimento de Tronco de Cone Modificado: Estudo de Caso.** 179 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Ilha Solteira, 2008.

RIBEIRO, Marcellus S. **A industrialização como requisito para a racionalização da construção.** 2002. 37 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

RODO QUÍMICA. **SUPLAST RODO:** Aditivo superplastificante de 3ª geração. 2018. Disponível em: <<http://www.rodoquimica.com.br/>>. Acesso em: 24 out. 2018.

ROSSETO, Hebert L. **Contribuições para a ciência e engenharia dos materiais cimentícios: processamento, durabilidade e resistência mecânica**. 123 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia dos Materiais, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

SAHMARAN, Mustafa et al. **Improving the workability and rheological properties of Engineered Cementitious Composites using factorial experimental design**. Amsterdam, p. 356-368. 2012.

SAHMARAN, Mustafa; LI, Victor C. **Durability properties of micro-cracked ECC containing high volumes fly ash**. *Cement and Concrete Research*, [s.l.], v. 39, n. 11, p.1033-1043, nov. 2009.

SERRA, S.M.B.; FERREIRA, M. de A.; PIGOZZO, B. N. **Evolução dos Pré-fabricados de concreto**. São Carlos, p. 2, nov. 2005.

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO, 2003. **SNIC 50 anos**. Rio de Janeiro, 2003. 10 p.

SILVA, Vanessa G. da; JOHN, Vanderley M. **Painéis em cimento reforçado com fibras de vidro (GRC)**. São Paulo, 1998.

VICENZI, Tais D. **Glassfibre Reinforced Concrete (GRC): Análise das dificuldades de inserção no mercado nacional de painéis fabricados em concreto reforçado com fibra de vidro**. 2015. 95 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

YU, Jia H. et al. **The microstructure of self-healed PVA ECC under wet and dry cycles**. *SciELO*, São Carlos, v. 13, n. 2, abr. 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-14392010000200017>. Acesso em: 15 abr. 2018.